

О НАБЛЮДЕНИИ ГИБРИДНЫХ РЕЗОНАНСНЫХ СОСТОЯНИЙ 1^{-+} И 1^{++} В ПРОЦЕССЕ ДИФРАКЦИОННОГО РОЖДЕНИЯ $\pi^+\pi^-\pi^-$ -СИСТЕМЫ

М.А.Ананьева, А.В.Голубчиков, О.А.Займидорога

На основании парциально-волнового анализа 120000 дифракционно-рожденных $\pi^+\pi^-\pi^-$ -событий доказан резонансный характер $J^{PC} = 1^{-+}$ - и 1^{++} - состояний. Результаты анализа свидетельствуют о том, что эти состояния имеют заметный выход в дифракционных процессах и могут быть интерпретированы как гибридные состояния.

Работа выполнена в Лаборатории сверхвысоких энергий ОИЯИ.

On the Observation of Hybrid Resonance States 1^{-+} and 1^{++} in the Diffractively Produced 3π -System

М.А.Ананьева, А.В.Голубчиков, О.А.Займидорога

On the basis of the partial-wave analysis of 120000 diffractively produced $\pi^+\pi^-\pi^-$ events, the resonance character of the $J^{PC} = 1^{-+}$ and 1^{++} states has been proved. The results of the analysis show that those states have a noticeable yield in the diffractive processes and can be interpreted as hybrid states.

The investigation has been performed at the Particle Physics Laboratory, JINR.

Квантовая хромодинамика предсказывает [1] существование связанных состояний, таких, как: глюболы — связанные состояния глюонов; экзотические многокварковые состояния ($q\bar{q}q\bar{q}$) и гибриды — связанные состояния кварк-антикварковой пары и глюона. Эти состояния должны существовать наряду с кварк-антикварковыми состояниями.

Открытие таких состояний и изучение их свойств имеет важное значение для:

- прямого доказательства существования глюона, проверки КХД;
- существования валентного глюона (а кварк-антикварковая система должна входить в цветовой октет помимо синглетного состояния по цвету);
- непрямого указания на решеточный подход.

Экспериментальная ситуация такова, что спектроскопия гибридов, многокварковых состояний и мезонов очень тесно соотносится. В области масс $1+2$ ГэВ/ c^2 должно дополнительно существовать ~ 15 нотетов. Обычным признаком их обнаружения является наблюдение

дополнительных состояний, не входящих в $(q\bar{q})$ -нонеты, т.е. состояний со спином и четностью, запрещенных в кварк-антикварковой модели. Поэтому поиск резонансов в массовом спектре, определение спина и четности состояний является недостаточным для заключения о гибридном характере резонансов. Иногда необходимо установить механизм рождения этих состояний. Таким, наиболее привлекательным механизмом, является дифракционное образование резонансных состояний.

В t -канале неупругого дифракционного процесса доминирует обмен полюсом с квантовыми числами вакуума, и амплитуда процесса не зависит от спина и изотопического спина. Поэтому рожденная система сохраняет квантовые числа начального адрона, а спин и четность принадлежат к "ненатуральной серии: $\Delta P = (-1)^{\Delta J}$, где ΔP , ΔJ есть изменение четности и полного спина системы. Вследствие этого в результате дифракции падающего бозона на ядре как целом рождается бозонная система, сохраняющая все дискретные квантовые числа налетающего бозона.

В результате большой передачи энергии бозонной системе при чрезвычайно малых передачах импульса и ограниченном числе состояний по спину и четности эти процессы предоставляют возможность изучения возбужденных состояний бозонных систем, т.е. спектр уровней возбуждения конstituентов падающей элементарной частицы. В этих процессах ярко проявляются волновые свойства частиц, и возбуждение резонансов обусловлено интерференцией волн на валентных конstituентах составных частиц. Поэтому обнаружение кварк-глюонных резонансов в дифракционных процессах прямо свидетельствовало бы о существовании глюона в валентном состоянии.

Целью настоящей работы является обсуждение результатов парциально-волнового анализа дифракционных событий и изучение вклада кандидатов в гибридные состояния.

Экспериментальные данные были получены на ускорителе 70 ГэВ в Серпухове коллективом научных групп ОИЯИ и Национального института ядерной физики Италии — сотрудничество Болонья — Дубна—Милан [2]. В эксперименте изучался процесс $\pi^- A \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^- A$ на девяти ядрах при энергии 40 ГэВ. Установка и ее основные узлы описаны в работе [3]. Представленные результаты основаны на парциально-волновом анализе 120000 дифракционно-образованных 3π -событий с 4-мерной передачей, меньшей передачи, соответствующей первому дифракционному минимуму дифференциального сечения процесса для различных мишеней (например, мень-

ше $0,04 \text{ (ГэВ/с)}^2$ для ядра бериллия и меньше $0,008 \text{ (ГэВ/с)}^2$ для ядра свинца). Этому условию удовлетворяло 75% событий.

Парциально-волновой анализ $\pi^+\pi^-\pi^-$ -событий осуществлялся по программе Иллинойского университета [4], адаптированной к условиям данного эксперимента. Волновой анализ когерентных событий, дифракционно-образуемых на ядрах, вследствие максимальной интерференции между волнами позволяет получить надежные измерения их относительных фаз. Спиновая структура 3π -системы описывается следующими квантовыми числами: $J^P L M \eta$, где J^P — спин-четность $\pi^+\pi^-\pi^-$ -системы, L — орбитальный момент мезона относительно дипиона, M — магнитное квантовое число, η — собственное значение оператора отражения в плоскости рождения. Искомые параметрами анализа являются элементы ρ -матрицы и комплексные параметры матричного элемента распада. Матричный элемент распада в системе покоя 3π -системы с осью квантования вдоль направления падающего мезона выражен через далитцовскую амплитуду с факторизацией вклада двухчастичного состояния (изобарное приближение) и углы ориентации (Эйлера) 3π -системы. Анализ далитц-распределений показал, что доминирующий вклад в спектр дипионных масс дают ρ - и f -мезоны, а также s -волновое состояние $\pi\pi$ -системы, при этом в каждом событии содержится один из этих дипионов. Определение набора парциальных волн, зависящих от массы 3π -системы, представляет собой итерационный процесс. Нами был тщательно изучен вклад широкого набора волн. Результаты этих исследований опубликованы в работах [5,6,7]. В настоящей работе детально изучались резонансные свойства минорных волн в области масс до 2 ГэВ/с^2 . Вклад амплитуд с собственным значением оператора отражения $\eta = -1$ оказался сильно подавленным в когерентной области (менее 0,1%). В этом случае ранг матрицы плотности равен двум, и число параметров не так велико. Полный вклад амплитуд с переворотом спина ($M \neq 0$) был изучен нами ранее [8]. В данной работе нами исследовались резонансные свойства амплитуд с переворотом спина. Для вывода о резонансном характере минорных волн необходимо исследовать: влияние параметризации s -состояния $\pi\pi$ -системы, увеличение величины функции максимального правдоподобия в присутствии исследуемой волны в зависимости от величины ее относительной фазы. Параметризация s -волновой дипионной амплитуды была сделана для ϵ -резонанса ($m_\epsilon = 0,77 \text{ ГэВ/с}^2$, $\Gamma_\epsilon = 0,4 \text{ ГэВ}$), фаз упругого $\pi^+\pi^-$ -рассеяния и $\pi^0\pi^0$ -рассеяния. Различная параметризация влияет только на интенсивность интерферен-

ции между разными модами распада для данного спина-четности состояния и не влияет на вклады разных J^P . В этой работе приведены результаты с ϵ -параметризацией, которая систематически дает большую величину функции максимального правдоподобия. В анализе не рассматривались волны с интенсивностью менее 0,5% и малым фактором когерентности. В области масс менее 1,5 ГэВ/с² определяющий вклад дают волны 0^-S , 0^-P , 1^+S , 1^+P , 1^+D и 2^-P с высоким фактором когерентности ($>0,5$). В этой области две спин-флипповые волны 2^+D1^+ и 1^-P1^+ проявляют резонансные свойства. Волна 2^+D1^+ является основной волной хорошо установленного $a_2(1320)$ -резонанса. На рис.1 показаны ее интенсивность и относительная фаза. В качестве опорной взята волна 0^-P ($\rho\pi$), которая имеет медленно меняющийся сигнал в широком массовом спектре, а ее фаза изменяется всего на $\sim 20^\circ$ [9], что было найдено при теоретическом анализе нерезонансной амплитуды.

Вклад парциальной волны 1^-P1^+ ($\rho\pi$) составляет около 2%, и ее интенсивность достигает максимума в районе 1200 МэВ/с², что, наряду с относительной фазой, видно на рис.2. Движение фазы этого состояния по отношению к волне 0^-P ($\rho\pi$) составляет $\sim 90^\circ$. Эта волна имеет высокий фактор когерентности ($>0,5$) и показывает постоянную фазу относительно волны 1^+S установленного в этой области $a_1(1260)$ -резонанса. Необходимость учета этой волны для описания данных была проверена по увеличению значения функции максимального правдоподобия в диапазоне масс 1,1—1,3 ГэВ/с² в зависимости от относительной фазы $\delta(1^-P1^+ - 0^-P)$. Проведенные доказательства свидетельствуют в пользу возможного резонансного поведения волны 1^-P1^+ ($\rho\pi$).

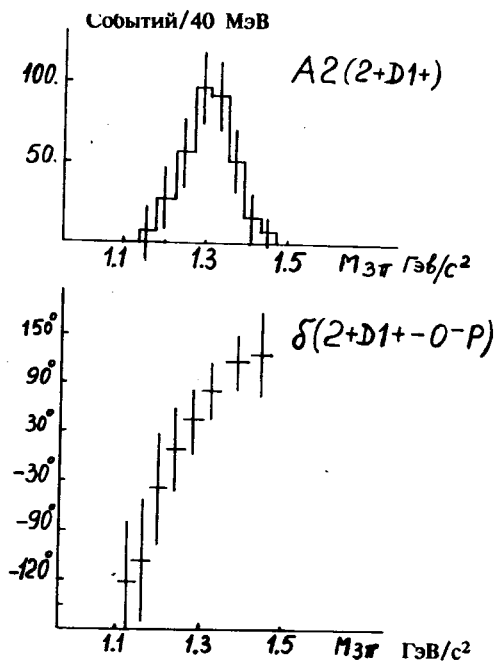


Рис.1. Интенсивность и относительная фаза основной волны $a_2(1320)$ -резонанса — 2^+D1^+

Параметры этого состояния найдены равными:

$$m_{1^{-+}} = (1,19 \pm 0,04) \text{ ГэВ}/c^2,$$

$$\Gamma_{1^{-+}} = (230 \pm 60) \text{ МэВ}.$$

Спиновая структура $J^{PC} = 1^{-+}$ этого резонанса невозможна в кварк-антикварковой модели бозона. Наличие относительного орбитального момента в $q\bar{q}$ -системе предотвращает быстрый распад этого

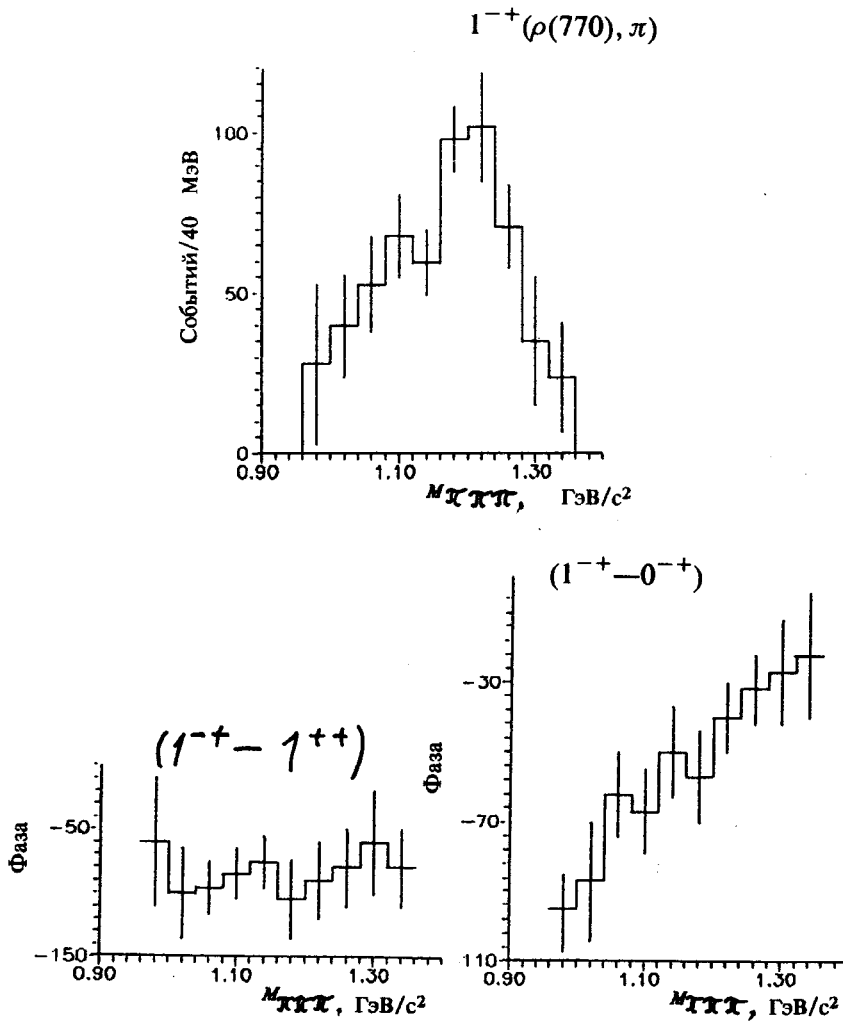


Рис.2. Интенсивность и относительная фаза волны $1^{-+}(\rho\pi)$ относительно волн 1^{++} и 0^{-+}

состояния и делает невозможной $q\bar{q}$ -аннигиляцию. Это состояние является кандидатом в гибридное состояние $q\bar{q}g$ с открытой экзотикой.

Далитц-плот-анализ дипионных спектров для области 3π -масс $1,35 + 1,45 \text{ ГэВ}/c^2$ позволил установить вклад в дипионный спектр состояния 0^+ наряду с преимущественным вкладом 1^- (ρ -мезон). При этом это состояние отсутствует вне указанной области 3π -масс. На рис.3 показан дипионный спектр, где виден вклад состояния 0^+ в области $\sim 1 \text{ ГэВ}/c^2$. Это позволило параметризовать дипионную амплитуду резонансом $f_0(975)$ и провести волновой анализ в области масс 3π -системы $1,3+1,5 \text{ ГэВ}/c^2$. Вклад $f_0(975)$ в этой области масс составляет около 16%. Необходимость учета этой волны также была проверена по увеличению значения функции максимального правдо-

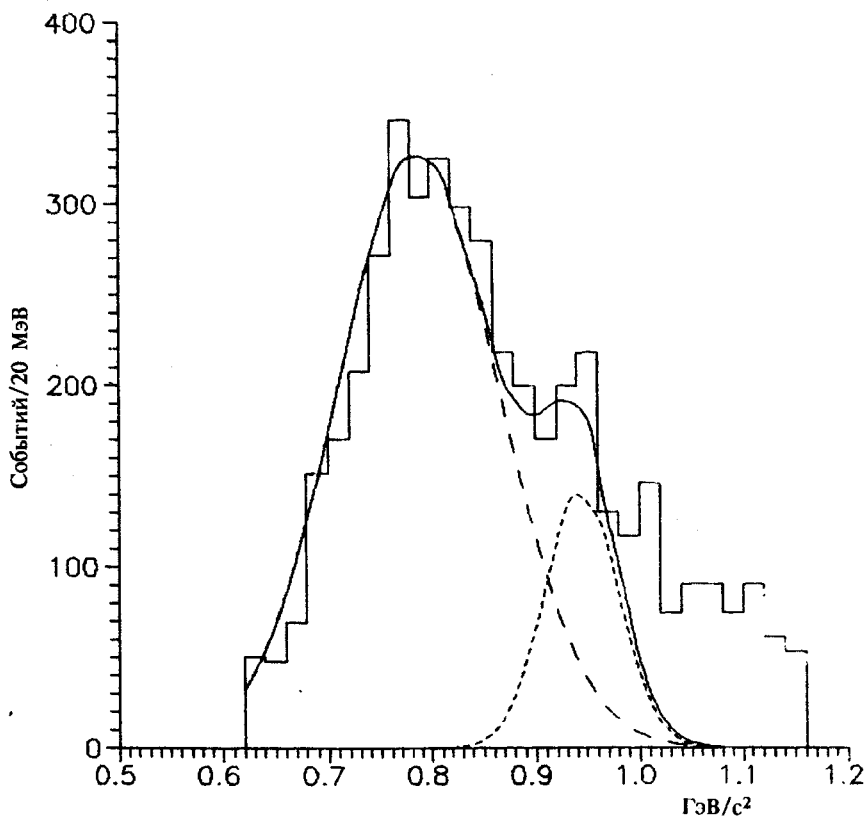


Рис.3. Дипионный спектр для области масс 3π -системы. $1,3+1,5 \text{ ГэВ}/c^2$

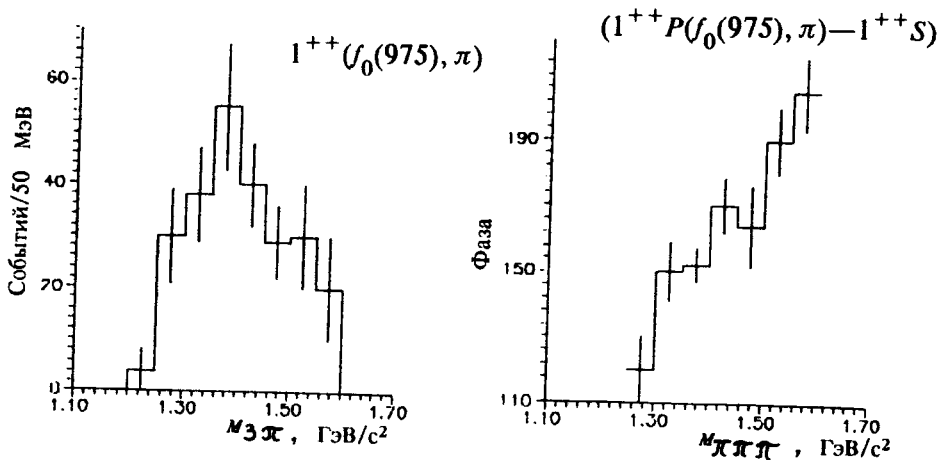


Рис.4. Интенсивность и относительная фаза волны $1^{++}(f_0(975), \pi)$ относительно волны $1^{++}S$

подобия в зависимости от относительной фазы и когерентности к волнам $1^{+}S$ и $0^{-}P$.

На рис.4 представлена интенсивность волны $1^{+}P(f_0(975), \pi)$ и ее относительная фаза. Видно, что фаза этой волны показывает быстрое изменение ($100 + 110^\circ$) по отношению к $1^{+}S$ -волне. Интенсивность этой волны, движение ее фазы, высокая когерентность и существенное изменение значения функции правдоподобия свидетельствуют о резонансных свойствах $1^{++}(f_0, \pi)$ -состояния.

Совместный фит ее амплитуды и фазы [10] позволил найти параметры этого состояния:

$$m_{1^{++}} = (1,4 \pm 0,08) \text{ ГэВ}/c^2,$$

$$\Gamma_{1^{++}} = (220 \pm 60) \text{ МэВ}.$$

Данное состояние можно рассматривать в качестве кандидата в гибридное состояние как C -партнер в P -волновом нонете.

В заключение хотим отметить, что дифракционное рождение гибридных и радиальных резонансных состояний, обусловленное когерентной интерференцией волн на валентных конституентах, является наиболее подходящим механизмом их образования. Более того, веское доказательство рождения гибридного резонанса может быть получено в том случае, если он рождается дифракционно.

Мы благодарны участникам сотрудничества Болонья—Дубна—Милан за предоставленную нам возможность использования данных эксперимента.

Литература

1. Chanowitz M., Sharpe S. — Nucl.Phys., 1983, B222, p.211.
2. Bellini G. et al. — Nucl.Phys., 1982, B199, p.1.
3. Abrosimov A.T. et al. — Nucl.Phys., 1979, B158, p.11.
4. Ascoli G. et al. — Phys.Rev., 1973, D7, p.669.
5. Bellini G. et al. — Phys.Rev.Lett., 1982, 48, p.1697.
6. Беллини Дж. и др. — Письма ЖЭТФ, 1981, 34, с.511.
7. Bellini G. et al. — Nuovo Cimento, 1984, 79, p.282.
8. Веньи Г. и др. — Ядерная физика, 1986, 43, с.1480.
9. Займидорога О.А., Тарасов А.В. — ЯФ, 1988, 48, с.224.
10. Zaimidoroga O.A., Nichitiu F. — JINR Preprint E1-82-120, Dubna, 1982.

Рукопись поступила 26 мая 1992 года.